

PCTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)(51) Internationale Patentklassifikation ⁷ :

C02F

A2

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: **WO 00/35812**(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum:

22. Juni 2000 (22.06.00)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/10011

(22) Internationales Anmeldedatum: 16. Dezember 1999
(16.12.99)(30) Prioritätsdaten:
198 60 129.8 17. Dezember 1998 (17.12.98) DE(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser
US): UFZ-UMWELTFORSCHUNGSZENTRUM
LEIPZIG-HALLE GMBH [DE/DE]; Permoserstrasse 15,
D-04318 Leipzig (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WEISS, Holger [DE/DE];
Gerichtshainer Strasse 8D, D-04451 Panitzsch (DE).
TEUTSCH, Georg [DE/DE]; Silcherweg 30, D-72827
Wannweil (DE).(74) Anwälte: HENGELHAUPT, Jürgen, D. usw.; Gulde Hengel-
haupt Ziebig, Schützenstrasse 15-17, D-10117 Berlin (DE).(81) Bestimmungsstaaten: US, europäisches Patent (AT, BE, CH,
CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL,
PT, SE).

Veröffentlicht

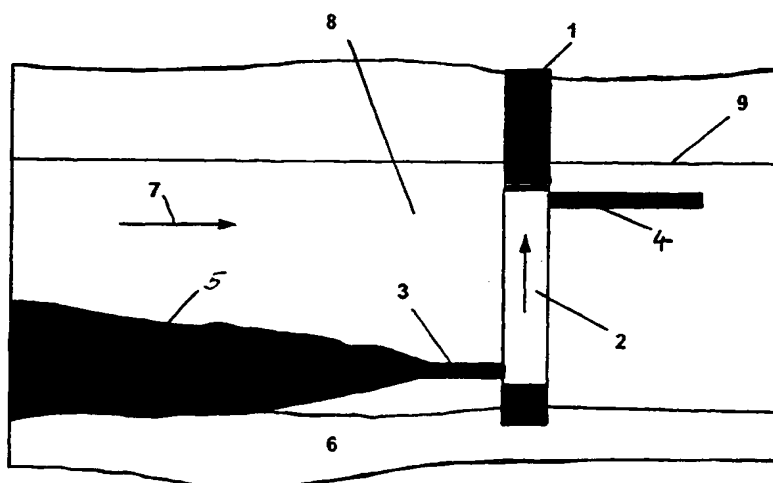
Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.

(54) Title: METHOD AND REACTOR FOR DECONTAMINATING GROUNDWATER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND REAKTOR ZUR DEKONTAMINATION VON GRUNDWASSER

(57) Abstract

The invention relates to a method and a reactor for decontaminating groundwater using vertical shaft technology applied in well digging techniques, the production of horizontal filter wells and reactants. The invention aims at providing a method and a reactor of the above-mentioned type ensuring cost-effective and selective groundwater extraction from any horizons in order to conduct selective and reliable treatment (decontamination). This is achieved in that the contaminated groundwater (5) is introduced into a reactor (1, 2) at any given height below the groundwater table (9) and fed through a reaction chamber (1) with at least one reactant (2) depending on the desired retention period and removed from the reactor (1, 2) as purified groundwater (4) at a desired height, wherein the height of the groundwater line in the reactor (1, 2) is selected depending on the type and position of the contaminant in the groundwater (8).



(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und einen Reaktor zur Dekontamination von Grundwasser unter Verwendung der Senkrechtschacht-Technologie aus der Brunnen-Bohrtechnik, der Herstellung von Horizontalfilterbrunnen und von Reaktionsmitteln. Die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und einen Reaktor der eingangs genannten Art zu entwickeln, mit denen eine kostengünstige und selektive Grundwasserentnahme aus beliebigen Horizonten zur selektiven und zuverlässigen Behandlung (Dekontamination) gewährleistet werden, wird dadurch gelöst, dass das kontaminierte Grundwasser (5) in einer beliebigen Höhe unterhalb des Grundwasserspiegels (9) in einen Reaktor (1, 2) eingeleitet und durch eine Reaktionskammer (1) mit mindestens einem Reaktionsmittel (2) in Abhängigkeit von der gewünschten Aufenthaltsdauer geführt und als gereinigtes Grundwasser (4) in einer gewünschten Höhe aus dem Reaktor (1, 2) abgeleitet wird, wobei die Höhe der Grundwassereinleitung in den Reaktor (1, 2) von der Schadstoffart und der Schadstofflage im Grundwasser (8) gewählt wird.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Verfahren und Reaktor zur Dekontamination von Grundwasser

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und einen Reaktor zur Dekontamination von Grundwasser gemäß den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 6.

Es sind bereits eine Vielzahl von Verfahren zur Dekontamination von Grundwasser bekannt.

In der DE 44 25 061 C1 wird ein permeables Behandlungsbett zur Reinigung kontaminierter Grundwasserströme in situ als quer zur Grundwasserströmung errichteter, sich bis unter die Grundwassersohle erstreckender, mit einem die Grundwasserbelastungsstoffe aus dem Wasser entfernenden oder im Wasser umwandelnden Füllgut zu beschickender Graben beschrieben. Innerhalb und entlang des Grabens ist eine für das Grundwasser durchlässige Doppelwand vorgesehen, die in ihrem Zwischenraum das Füllgut enthält. Durch die Länge der Reinigungsstrecke innerhalb der Doppelwand ergibt sich eine mehr oder weniger ausreichende Kontaktzeit des Grundwassers mit dem Füllgut. Das Grundwasser wird nicht selektiv, sondern in der Gesamtmenge innerhalb der bautechnischen Maßnahme erfaßt, behandelt und wieder abgegeben.

In der DE 42 21 198 C2 wird ein Verfahren zum Entfernen von wasserlöslichen sorbierbaren Schadstoffen aus einem abströmenden Grundwasser in den Sedimenten der Umgebung eines Kontaminationsherdes mit Hilfe einer Schmalwand beschrieben. Dabei wird in den Weg des abströmenden Grundwassers ein Schlitz in die Sedimente eingebracht, der mit Sorptionsmaterial verfüllt wird. In dem Weg des abströmenden Grundwassers wird in Strömungsrichtung hinter dem ersten Schlitz ein zweiter Schlitz in die Sedimente eingebracht und mit Sorptionsmaterial verfüllt sobald das Sorptionsmaterial in dem ersten Schlitz bis in den Bereich der Sättigung beladen ist. Dieser Vorgang wird beliebig fortgesetzt.

In der WO 91/08176 wird ein Verfahren zur Säuberung von mit chlorierten bzw. mit halogenhaltigen organischen Stoffen (CKW) kontaminiertem Grundwasser beschrieben.

Es wird dazu vorgeschlagen, das CKW-belastete Wasser für definierte Verweilzeiten durch hermetisch abgeschlossene Metallkörper zu schleusen und dabei jeglichen Sauerstoffzutritt zu vermeiden. Dazu wird vorgeschlagen, einen Sickergraben in der wasserführenden Schicht auszuheben und in diesen den Metallkörper einzubringen.

Das Problem kontaminiertes Grundwasser zu reinigen, wird des weiteren in den Schriften US 5,534,154, US 5,487,622 und US 5,362,394 behandelt.

Bei allen bisher bekannt gewordenen Verfahren werden die gesamten bautechnisch erfaßten Aquiferbereiche behandelt und auf breiter Front wieder abgegeben. Die horizontale Durchströmung verlangt eine Baubreite, die die zum Schadstoffabbau notwendige Aufenthaltszeit

ermöglicht. Es werden gate-, Schlitz- oder Grabenbreiten von zehn Metern und mehr erforderlich, die hohe Kosten verursachen.

5 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und einen Reaktor der eingangs genannten Art zu entwickeln, mit denen eine kostengünstige und selektive Grundwasserentnahme aus beliebigen Horizonten zur selektiven und zuverlässigen Behandlung
10 (Dekontamination) gewährleistet werden.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Merkmale der Ansprüche 1 und 3 gelöst. Nach der Erfindung wird das kontaminierte Grundwasser in einer beliebigen Höhe unterhalb des Grundwasserspiegels in einen Reaktor
15 eingeleitet und durch eine Reaktionskammer mit mindestens einem Reaktionsmittel in Abhängigkeit von der gewünschten Aufenthaltsdauer geführt und als gereinigtes Grundwasser in einer gewünschten Höhe aus dem Reaktor abgeleitet, wobei die Höhe der Einleitung
20 des Grundwassers in den Reaktor von der Schadstoffart und der Schadstofflage im Grundwasser gewählt wird.

25 Das kontaminierte Wasser durchströmt zur Dekontamination vertikal einen als Reaktor ausgebildeten Senkschacht mit darin eingebrachtem reaktiven Material.

Der Reaktor nach der Erfindung ist nach der bekannten Senkschacht-Technologie bis in die Sohle des Horizontes hinein eingebracht, der das kontaminierte Grundwasser
30 führt.

Der Reaktor weist eine Reaktionskammer mit mindestens

einer Zu- und mindestens einer Ableitung auf (Kiesmantelbrunnen, Abstromfahne). Die Reaktionskammer enthält mindestens ein Reaktionsmittel und reicht bis zur Reaktorsole und ist unterhalb des Grundwasserspiegels verschlossen.

Die Kopplung der Senkschacht-Technologie mit bekannten Methoden der Sanierungstechnik bringt hydraulische Vorteile wie die Möglichkeit der selektiven Grundwasserentnahme aus nahezu beliebigen Horizonten in gewünschtem Umfang. Für eine Reihe von Schadensfällen ist diese Möglichkeit von großem Vorteil. Da sich Kontaminationen im Grundwasser häufig nicht gleichmäßig verteilen, sondern in bestimmten Horizonten konzentrieren, muß zur Dekontamination also nur dieser Teil des Grundwassers entnommen und behandelt werden. Zusätzlich kann das behandelte Grundwasser in beliebige Tiefenbereiche des Aquifers abgegeben werden.

Zur Erfassung von Schadstoffen, die schwerer als Wasser sind, wird nach einer Ausführungsform der Erfindung das Grundwasser dem Reaktor im unteren Bereich zugeführt und unterhalb des Grundwasserspiegels aus dem oberen Bereich des Reaktors als gereinigtes Grundwasser abgeleitet.

Zur Erfassung von Schadstoffen, die leichter als Wasser sind, zum Beispiel Öl, wird nach einer Ausführungsvariante der Erfindung das Grundwasser dem Reaktor im oberen Bereich unterhalb des Grundwasserspiegels zugeführt und auch wieder abgeleitet, nachdem das kontaminierte Grundwasser zur Erzielung einer längeren

Aufenthaltsdauer im Reaktor entlang einer Zwischenwand, die im unteren Bereich des Reaktors offen ist, zunächst abwärts und danach aufwärts gerichtet geführt wurde.

5 Zur Erfassung von Schadstoffen, die sich im mittleren Bereich der Grundwassersäule befinden, zum Beispiel Schwebstoffe oder Schadstoffe in Inselbereichen aus zum Beispiel Ton/Lehm, wird nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung das Grundwasser dem Reaktor im
10 mittleren Bereich zugeführt und entlang einer Zwischenwand nach unten und von dort entlang der Zwischenwand in den oberen Bereich des Reaktors geleitet und unterhalb des Grundwasserspiegels herausgeführt.

15 Bei der bisher bekannten „funnel-and-gate“-Schlitz- oder Graben-Technologie werden hingegen die gesamten bautechnisch erfaßten Aquiferbereiche behandelt und auf breiter Front wieder abgegeben. Bei den bekannten
20 Verfahren verlangt die horizontale Durchströmung eine Baubreite, die die zum Schadstoffabbau notwendige Aufenthaltszeit ermöglicht. Da die Durchströmungsgeschwindigkeit immer größer sein muß als die natürliche Grundwasserfließgeschwindigkeit und bei komplexen
25 Schadstoffgemischen oder bei schwer zu metabolisierenden Stoffen Abbauzeiten von mehr als zehn Tagen benötigt werden, sind gate-, Schlitz- oder Grabenbreiten von zehn Metern und mehr erforderlich, die den Bau außerordentlich verteuern. Dasselbe gilt für die
30 Tiefe der notwendigen Bauwerke. Bisher nach den bekannten Verfahren realisierte Bauwerke erreichen lediglich wenige Meter Tiefe. Durch das Verfahren nach der

Erfindung lassen sich vertikale Durchströmungslängen (Aufenthaltszeiten) bis zur Differenz Brunnentiefe-Druckwasserspiegel realisieren, ohne daß dazu gepumpt werden müßte. Die Erfassung größerer Grundwasserströme kann durch die Verbindung mehrerer Brunnen durch undurchlässige Wände erreicht werden.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel eines Reaktors näher erläutert werden. In der zugehörigen Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Reaktors nach der Erfindung in Arbeitsposition für Schadstoffe schwerer als Wasser,

Fig. 2 eine schematische Darstellung des Reaktors nach Fig. 1 für Schadstoffe leichter als Wasser und

Fig. 3 eine schematische Darstellung des Reaktors nach Fig. 1 für Schadstoffe im mittleren Bereich.

Zur Dekontamination von in unterschiedlichen Schichten befindlichem kontaminiertem Grundwasser 5 (Schadstoff-fahne) wird nach dem erfindungsgemäßen Verfahren das kontaminierte Wasser unmittelbar aus der kontaminierten Wasserschicht 5 über Zuleitungen (Horizontal-Drainage), zum Beispiel Kiesmantelbrunnen 3, in einen Senkschacht 1 mit darin befindlichem reaktiven Material 2 eingebracht, wobei der Senkschacht 1 vertikal durchströmt

wird. Der Senkschacht 1 ist in den undurchlässigen Horizont 6 so eingebracht, daß seine Lage in Grundwasser-Fließrichtung 7 vor der Schadstoffahne 5 ist.

5 Die Fig. 1 zeigt in einer schematischen Darstellung die prinzipielle Ausführung eines Reaktors zur Durchführung des Verfahrens nach der Erfindung, bestehend aus dem Senkschacht 1 und dem darin eingebrachten reaktiven Material 2, für Schadstoffe, die schwerer als Wasser
10 sind und sich demzufolge im unteren Teil des Aquifers befinden.

Der Senkschacht 1 des Reaktors wird beispielsweise aus Betonsegmenten der Höhe 2,5 m und einem Innendurchmesser von 3 m und einer Schachttiefe von 20 m gebildet
15 und ist bis in den undurchlässigen Horizont 6 hinein gegründet. Der Senkschacht 1 ist mit reaktiven Materialien 2 wie Fe^0 gefüllt und weist im unteren Bereich, im unmittelbaren Zielhorizont, Kiesmantelbrunnen 3 auf, die zum Beispiel 10 m lang in den Aquifer vorgetrieben
20 sind. Über diese Wasserfassung im unteren Bereich der grundwasserführenden Schicht 8 wird das kontaminierte Grundwasser 5 aufgrund der hydraulischen Eigenschaften ohne Pumpen in den mit Reaktionsmaterialien 2 gefüllten Schacht 1 geleitet. Das zur Dekontamination zugeführte Grundwasser durchströmt vertikal (Pfeilrichtung) das Reaktionsmaterial 2 (entsprechend Dimensionierung) und
25 wird anschließend im oberen Bereich der wasserführenden Schicht 8 infiltriert, d.h. unterhalb des Grundwasserspiegels 9 abgeleitet (Abstromfahne 4).

Die Fig. 2 zeigt in schematischer Darstellung die Ausbildung des Reaktors für eine Situation, bei der die Schadstoffe leichter als Wasser sind und demzufolge im
35 oberen Bereich der wasserführenden Schicht 8 über

horizontale Kiesmantelbrunnen 3 in den Reaktor
eingeleitet werden.

Das kontaminierte Wasser 5 wird im Senkschacht 1 durch
das reaktive Material 2 zunächst, eventuell mittels
einer nicht dargestellten Pumpe, an einer im
Bodenbereich des Senkschachtes 1 offenen Zwischenwand
vertikal nach unten und dann umgelenkt nach oben
geführt und anschließend unterhalb des Grundwasser-
spiegels 9 ausgeleitet (Abstromfahne 4).

Die Fig. 3 zeigt in schematischer Darstellung die
Ausbildung des Reaktors, bestehend aus dem Senkschacht
1 mit dem reaktiven Material 2 für den Fall, daß sich
die Schadstoffe im mittleren Bereich der wasser-
führenden Schicht 8 befinden.

Vom Senkschacht 1 werden die horizontalen Kiesmantel-
brunnen 3 unmittelbar in den Zielhorizont mit dem
kontaminierten Wasser 5 getrieben, das kontaminierte
Wasser 5 wird in den Senkschacht 1 geleitet und wie im
Beispiel 2 durch das reaktive Material 2 des
Senkschachtes 1 geführt und unterhalb des Grundwasser-
spiegels 9 herausgeleitet (Abstromfahne 4).

Der Einsatz von Pumpen ist nur in Ausnahmefällen dann
notwendig, wenn der Eigendruck insbesondere bei
ungespannten Grundwasserleitern nicht ausreicht.

Die Erfindung ist nicht auf die hier beschriebenen
Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr ist es
möglich, durch Kombination und Modifikation der
beschriebenen Merkmale weitere Ausführungsvarianten zu
realisieren, ohne den Rahmen der Erfindung zu
verlassen.

Bezugszeichenliste

5	1	Senkschacht
	2	Reaktives Material
	3	Kiesmantelbrunnen (Zuleitung, Horizontal- Drainage)
	4	Abstromfahne (Ableitung)
10	5	Schadstoffahne (kontaminiertes Wasser)
	6	Undurchlässiger Horizont
	7	Grundwasser-Fließrichtung
	8	Grundwasserführende Schicht
	9	Grundwasserspiegel
15	10	Zwischenwand

20

25

30

Verfahren und Reaktor zur Dekontamination von Grundwasser

5

Patentansprüche

1. Verfahren zur Dekontamination von Grundwasser unter Verwendung der Senkrechtschacht-Technologie aus der Brunnen-Bohrtechnik, der Herstellung von Horizontalfilterbrunnen und von Reaktionsmitteln, dadurch gekennzeichnet, daß das kontaminierte Grundwasser (5) in einer beliebigen Höhe unterhalb des Grundwasserspiegels (9) in einen Reaktor (1,2) eingeleitet und durch eine Reaktionskammer (1) mit mindestens einem Reaktionsmittel (2) in Abhängigkeit von der gewünschten Aufenthaltsdauer geführt und als gereinigtes Grundwasser (4) in einer gewünschten Höhe aus dem Reaktor (1,2) abgeleitet wird, wobei die Höhe der Grundwassereinleitung in den Reaktor (1,2) von der Schadstoffart und der Schadstofflage im Grundwasser (8) gewählt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Reaktor (1,2) vertikal bis in die Sohle des Horizontes hinein, der das kontaminierte Grundwasser (5) führt, eingebracht wird, wobei in dem für die Grundwassereinleitung vorgesehenen Bereich des Reaktors (1,2) mindestens eine perforierte Zuleitung (3) horizontal in das Grundwasser (8) herausgeführt wird, über die das kontaminierte

Grundwasser (5) in den mit Reaktionsmittel (2) gefüllten Reaktor (1) einströmt.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet,

daß zur Erfassung von Schadstoffen, die schwerer als Wasser sind, das Grundwasser dem Reaktor (1,2) im unteren Bereich zugeführt und unterhalb des Grundwasserspiegels (9) aus dem oberen Bereich des Reaktors (1,2) als gereinigtes Grundwasser (4) abgeleitet wird.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet,

daß zur Erfassung von Schadstoffen, die leichter als Wasser sind, das Grundwasser dem Reaktor (1,2) im oberen Bereich unterhalb des Grundwasserspiegels (9) zugeführt und auch wieder abgeleitet wird, nachdem das kontaminierte Grundwasser (5) zur Erzielung einer längeren Aufenthaltsdauer im Reaktor (1,2) entlang einer Zwischenwand (10), die im unteren Bereich des Reaktors (1,2) offen ist, zunächst abwärts und danach aufwärts gerichtet geführt wurde.

5. Verfahren nach Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet,

daß zur Erfassung von Schadstoffen, die sich im mittleren Bereich der grundwasserführenden Schicht (8) befinden, das Grundwasser dem Reaktor (1,2) im mittleren Bereich zugeführt, entlang einer Zwischenwand (10) nach unten geführt, dort entlang

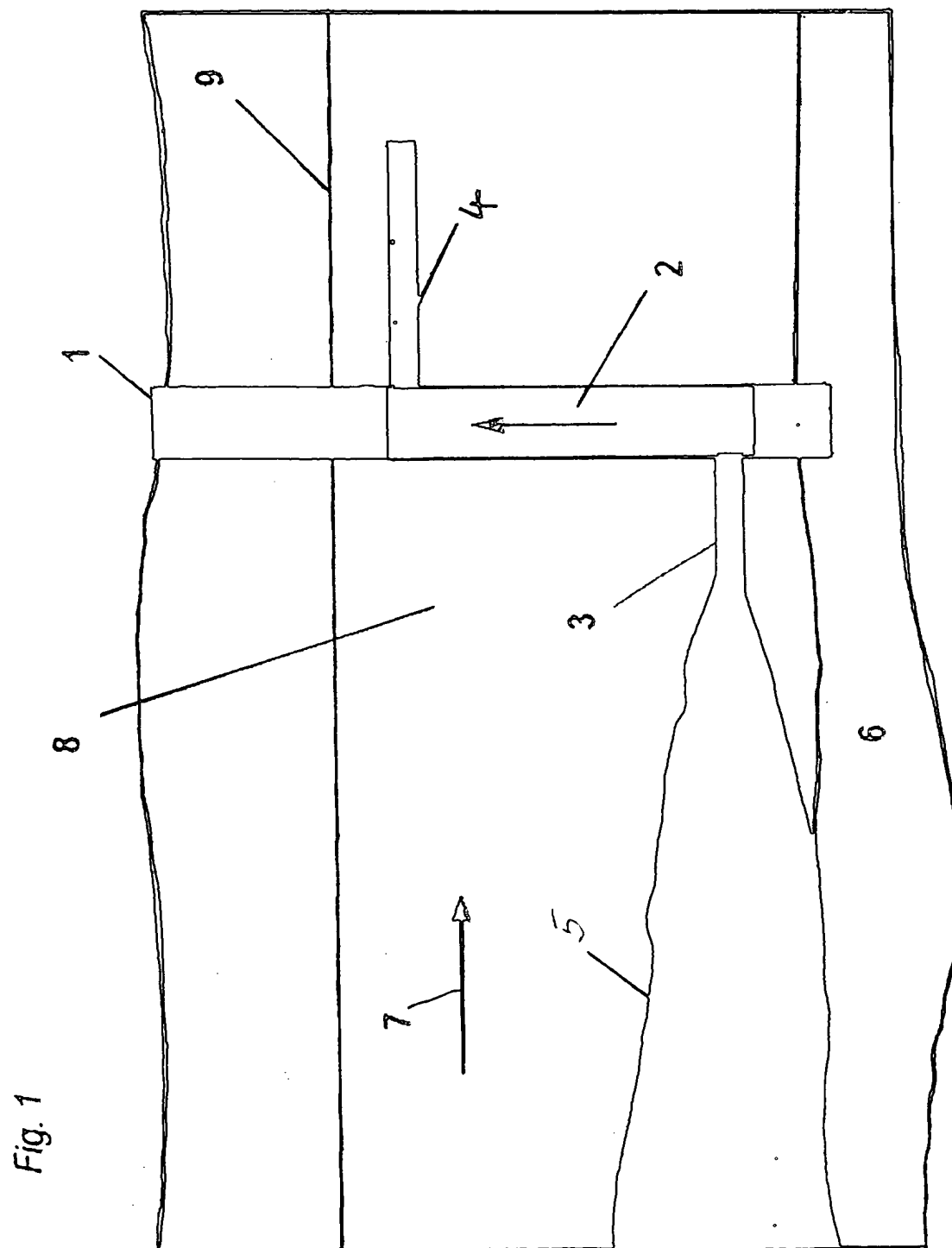
der Zwischenwand in den oberen Bereich des Reaktors (1,2) geleitet und unterhalb des Grundwasserspiegels (9) herausgeführt wird.

- 5 6. Reaktor zur Dekontamination von Grundwasser in der Art eines in Senkschacht-Technologie hergestellten Brunnens,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
eine Reaktionskammer (1) zur Aufnahme mindestens
10 eines Reaktionsmittels (2) und mit mindestens einer Zu- und mindestens einer Ableitung (3,4) in einer gewünschten Höhe, jedoch unterhalb des Grundwasserspiegels (9), vorgesehen ist, die bis zur Reaktorsole reicht und unterhalb des
15 Grundwasserspiegels (9) verschlossen ist.
7. Reaktor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß im Reaktor (1,2) mindestens eine nach oben oder nach unten offene Zwischenwand (10) eingebracht
20 ist.
8. Reaktor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Reaktoren (1,2) miteinander verbunden
25 sind.

25

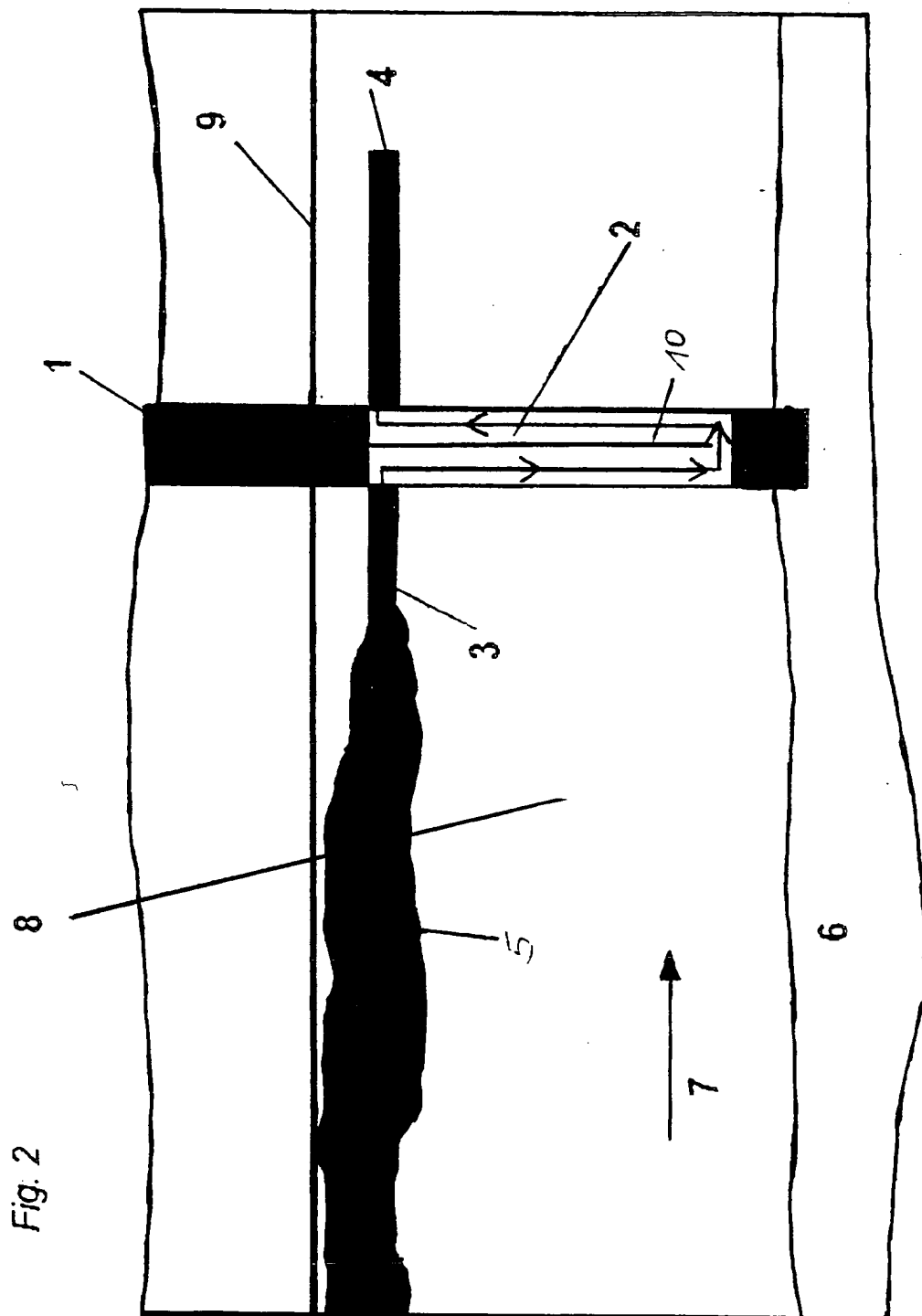
30

1/3



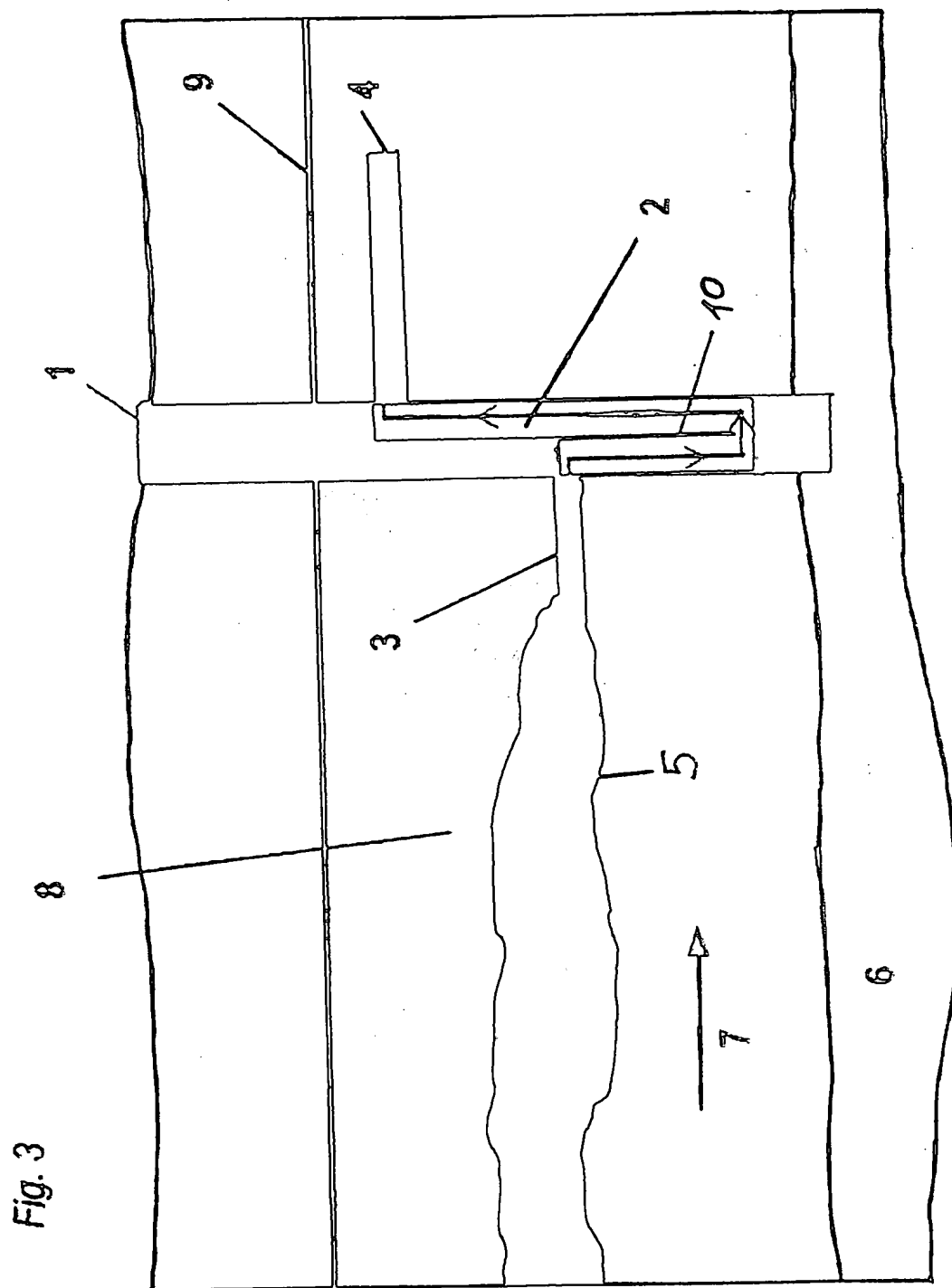
THIS PAGE BLANK (USPTO)

2/3



THIS PAGE BLANK (USPTO)

3/3



THIS PAGE BLANK (USPTO)